



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 420 108 A1** ✓

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 90118315.2

51 Int. Cl.⁵: G01J 5/60

22 Anmeldetag: 24.09.90

30 Priorität: 25.09.89 LU 87595

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
03.04.91 Patentblatt 91/14

64 Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU NL SE

71 Anmelder: **EUROPÄISCHE
ATOMGEMEINSCHAFT (EURATOM)**
Bâtiment Jean Monnet Plateau du Kirchberg
L-2920 Luxembourg(LU)

72 Erfinder: **Ronchi, Claudio**
Gartenstrasse 37
W-7528 Neuthard(DE)
Erfinder: **Beukers, Rutger**

Buhlstrasse 3A
W-7502 Ettlingen(DE)
Erfinder: **Heinz, Wilhelm**
Nelkenstrasse 3A
W-7515 Linkenheim(DE)
Erfinder: **Selfslag, Raoul François C.**
L-Neck-Strasse 16
W-7514 Eggenstein(DE)
Erfinder: **Hiernaut, Jean-Pol**
H. Meierheuserstrasse 8
W-7515 Linkenheim(DE)

74 Vertreter: **Weinmiller, Jürgen**
Lennéstrasse 9 Postfach 24
W-8133 Feldafing(DE)

54 **Mehrwellenlängen-pyrometer.**

57 Die Erfindung betrifft einen Mehrwellenlängen-Pyrometer zur Messung von Temperatur und Emissionsgrad einer Oberfläche oberhalb 900 K. Dieser Pyrometer weist mehrere für verschiedene Wellenlängenbereiche $\lambda_1 \dots \lambda_i \dots \lambda_n$ empfindlichen Strahlungsdetektoren und einem Datenprozessor auf, der die Ausgangssignale der Strahlungsdetektoren nach einer Digitalisierung zugeführt erhält und daraus mithilfe des Wien-Planck'schen Gesetzes die Temperatur unter der Annahme errechnet, daß es sich bei der Oberfläche um einen idealen schwarzen Körper handelt. Dann wird der Emissionsgrad abhängig von der Temperatur und der Wellenlänge aus diesen errechneten Temperaturwerten gemäß einem Näherungsansatz und daraus die gesuchte Temperatur errechnet. Erfindungsgemäß werden die Differenzen zwischen den Pyrometersignalen und den aufgrund des angenommenen Emissionsgrads und der daraus errechneten gesuchten Temperatur zu erwartenden Pyrometersignalen für verschiedene der Näherungsansätze und die verschiedenen Wellenlängen errechnet und dann wird derjenige Näherungsansatz ausgewählt, der für alle Wellenlängen die geringste Summe der Quadrate dieser Differenzen ergibt.

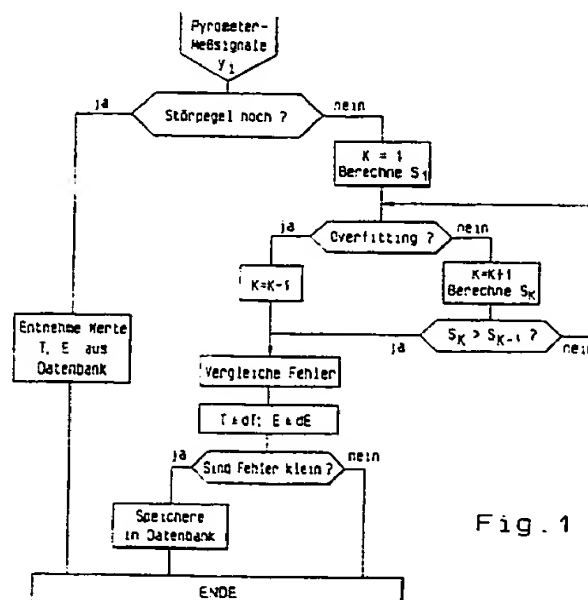


Fig. 1

EP 0 420 108 A1

MEHRWELLENLÄNGEN-PYROMETER

Die Erfindung bezieht sich auf ein Mehrwellenlängen-Pyrometer zur Messung von Temperatur und Emissionsgrad einer Oberfläche oberhalb 900 K, mit mehreren für verschiedene Wellenlängen $\lambda_1 \dots \lambda_i \dots \lambda_n$ empfindlichen Strahlungsdetektoren und einem Datenprozessor, der die Ausgangssignale der Strahlungsdetektoren nach einer Digitalisierung zugeführt erhält, und daraus mit Hilfe des Wien-Planck'schen Gesetzes die Temperatur unter der Annahme errechnet, daß es sich bei der Oberfläche um einen idealen schwarzen Körper handelt, worauf der Emissionsgrad abhängig von der Temperatur und der Wellenlänge aus diesen Temperaturwerten gemäß einem Näherungsansatz und daraus die gesuchte Temperatur errechnet wird.

Aus der Zeitschrift Temperature, Vol. 5, 1982, Seiten 439 bis 446, ist ein schnelles Pyrometer der angegebenen Art bekannt. Auf die zu messende Oberfläche ist ein optisches System ausgerichtet, das sich mit Hilfe von einem Glasfaserbündel in sechs Kanäle aufspaltet, und über schmalbandige Bandfilter zu den Photodioden geführt wird. Die Detektorsignale werden dann digitalisiert und in einem Prozessor ausgewertet.

Die Auswertung beruht auf den Wien-Planck-Gleichung für schwarze Körper

$$L = C_1 \cdot \lambda^{-5} [\exp(C_2/\lambda T) - 1]^{-1} \quad (1)$$

wobei L die Strahldichte bei der wellenlänge λ , C1 und C2 Konstanten und T die Temperatur des schwarzen Körpers ist.

Da die zu untersuchende Oberfläche in der Regel kein idealer schwarzer Körper ist, muß der Emissionsgrad E berücksichtigt werden, der das Verhältnis zwischen der Strahldichte des schwarzen Körpers und des realen Körpers darstellt.

Dieser Emissionsgrad ist temperatur- und wellenlängenabhängig und kann durch eine Taylor-Reihe der folgenden Form ausgedrückt werden kann:

$$1/n E = a_0 + a_1 \lambda + a_2 \lambda^2 + \dots \quad (2)$$

Erfahrungsgemäß ist die Wellenlängenabhängigkeit in begrenzten Wellenlängenbereichen eine stetige Funktion, so daß die Reihe (2) nach wenigen Termen abgebrochen werden kann.

In dem erwähnten Artikel wird deshalb vorgeschlagen, eine lineare Annäherung der Funktion (2) zu wählen und aus den sechs Meßwerten der Strahldichte gemäß den sechs Wellenlängen des Pyrometers jeweils zwei Wellenlängen gemeinsam auszuwerten und dann durch die Analyse der Quadrate der Abweichungen der einzelnen Resultate die Temperatur zu bestimmen.

Es hat sich gezeigt, daß dieses Verfahren für schwierige Fälle zu Ergebnissen führt, bei denen

keine zuverlässige Aussage über ihre Präzision möglich ist.

So gelten als schwierig pyrometrische Messungen von hochreflektierenden Oberflächen, wo der Emissionsgrad sehr niedrig und wegen möglicher Oberflächenreaktionen sehr schwankend ist (z. B. Aluminium während Metallurgiebehandlungen).

Aufgabe der Erfindung ist es also, ein Mehrwellenlängenpyrometer der eingangs genannten Art so zu verbessern, daß der Rechenaufwand und der Restfehler verringert werden und auch bei sehr ungünstigen Meßbedingungen noch brauchbare Resultate erzielt werden können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Differenzen zwischen den Pyrometersignalen und den aufgrund des angenommenen Emissionsgrads und der daraus errechneten gesuchten Temperatur zu erwartenden Pyrometersignalen für verschiedene der Näherungsansätze und die verschiedenen Wellenlängen errechnet werden und daß dann derjenige Näherungsansatz ausgewählt wird, der für alle Wellenlängen die geringste Summe der Quadrate dieser Differenzen ergibt und die höchste Temperatur- und Emissionsgradgenauigkeit.

Vorzugsweise weist der Prozessor einen Speicher auf, in dem eine Datenbank für den Emissionsgrad bestimmter Materialien in Abhängigkeit von der Temperatur und der Wellenlänge aufgebaut wird, wobei der Prozessor auch diese Datenbank zur Errechnung der Temperatur heranzieht, wenn die gleichen Materialien einer Pyrometermessung zugrundeliegen.

Die Erfindung wird nun anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels mithilfe zweier Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt ein Flußdiagramm für die vom Prozessor auszuführenden Operationen.

Figur 2 zeigt schematisch ein Pyrometer gemäß der Erfindung.

Ein Sechswellenlängenpyrometer 1, wie es in dem einleitend erwähnten Aufsatz in "Temperature" beschrieben ist, liefert gleichzeitig sechs Strahlungsintensitätswerte eines vom Pyrometer beobachteten Körpers bzw. seiner Oberfläche, wobei die in der Praxis verwendeten Wellenlängen zwischen 400 und 2000 nm liegen. Die Bandbreite eines Meßkanals liegt unter 100 nm.

Die zur Intensität proportionalen Meßwerte werden in bekannter Weise in Fotodioden gewonnen und dann digitalisiert einem Prozessor 2 angeboten. Dieser stellt zuerst einmal fest, ob die Signale hinreichend stabil sind, d.h., ob der Rauschpegel hinreichend niedrig ist. Nur wenn dies der Fall ist, läßt sich die Temperatur mit einem hinreichend

kleinen Fehler berechnen (Signalstandard-Abweichung: S_0). Dann wird der Ansatz für die Bestimmung des Emissionsgrads E gemäß der Gleichung 2 ausgewählt. Man unterscheidet zwischen einem Modell nullter Ordnung, bei dem $\ln E$ eine von der Wellenlänge unabhängige Konstante a ist, einem Modell erster Ordnung, bei dem $\ln E$ linear von der Wellenlänge abhängt (der Ansatz wird definiert durch die Bestimmung von a_0 und a_1) und Modellen höherer Ordnung, bei denen weitere Glieder der Taylor-Reihe verwertet werden müssen.

Zuerst wird von einem Modell erster Ordnung ausgegangen, und es werden a_0 und a_1 und damit der Emissionsgrad für die sechs Wellenlängen bestimmt, wobei a_0 und a_1 in allen sechs Bestimmungsgleichungen denselben Wert haben müssen. Im Kern besteht die Berechnung aus einer Subroutine, die die Summe der Quadrate der Abweichungen zwischen den gemessenen Signalen und den mit Hilfe des durch a_0 und a_1 definierten Werts des Emissionsgrads errechneten Strahlstärke minimiert und die resultierende Standard-Abweichung S_K der Fittingsprozedur berechnet.

Die erwarteten Temperatur- und Emissionsgradfehler werden als die Differentiale berechnet, die durch aufeinanderfolgende Inkrementierung der Signale bei dem jeweiligen Fehler und durch erneute Berechnung von Temperatur und Emissionsgrad erhalten werden. Es empfiehlt sich dann zu überprüfen, ob nicht auch ein Modell nullter Ordnung anwendbar wäre, da dieses einen geringeren absoluten Fehler in der Temperaturermittlung bietet. Dieser Fall ist dann gegeben, wenn die Konstante a_1 aus der Gleichung 2 unter einem gegebenen Wert liegt, d.h. wenn der Emissionsgrad von der Wellenlänge praktisch nicht abhängt. In diesem Fall erhält man also sechs voneinander unabhängige Temperaturmessungen bei den verschiedenen Wellenlängen.

Die Auswahl von Modellen höherer Ordnung führt zu einer Verringerung der Standard-Abweichung S_K , aber nicht unbedingt des Temperaturfehlers. Im Gegenteil, wenn S_K den Wert von S_0 erreicht, ergibt jede weitere Erhöhung der Modellanordnung (overfitting) meist nicht eine geringere, sondern eine größere Ungenauigkeit der Temperatur. Wenn bei der Fehlerauswertung festgestellt wird, daß der Fehler ansteigt, hat man das optimale Modell gefunden und die Konstanten a_1, a_2, \dots, a_j festgelegt.

Hat die Fehleranalyse ergeben, daß der Fehler besonders klein ist, dann empfiehlt es sich, die die Temperatur, die Wellenlänge und den Emissionsgrad verknüpfende Kurvenschar für spätere Verwendungszwecke abzuspeichern. Man baut sich also eine nach der Art der Materialien der zu untersuchenden Oberfläche geordnete Datenbank auf, auf die man später zurückgreifen kann. Dies ist

insbesondere von Wert, wenn bei einer späteren Messung sehr ungünstige Meßbedingungen vorliegen, z.B. farbendifferenzierte Rauchentwicklung im optischen Pfad des Pyrometers oder Instabilitäten in der Elektronik aufgrund hoher Umgebungstemperatur. In diesem Fall vergleicht man lediglich die Pyrometermeßwerte mit für gleiche Materialien früher ermittelten Kurvenscharen und kann daraus die Temperatur unmittelbar errechnen. Eine solche von den am wenigsten gestörten Signalen gespeiste Datenbank ist in Fig. 2 mit dem Bezugszeichen 3 versehen dargestellt. Mit den Daten dieser Datenbank können auch andere einfarbige Pyrometer parallel betrieben werden.

Mit dem erfindungsgemäßen Pyrometer lassen sich auch unter ungünstigen Bedingungen die gewünschten Berechnungen innerhalb von einer Millisekunde durchführen, so daß auf einem Bildschirm 4 praktisch in Echtzeit der Kurvenverlauf der Temperatur oder des Emissionsgrads über die Zeit auch für rasch ablaufende Vorgänge, wie z.B. die Impulsheizung mit einem Laser, dargestellt werden können. Damit eröffnen sich der Analyse rasch ablaufender Vorgänge im Temperaturbereich oberhalb von 700 K und bis zu 10.000 K neue Möglichkeiten.

Ansprüche

1. Mehrwellenlängen-Pyrometer zur Messung von Temperatur und Emissionsgrad einer Oberfläche oberhalb 900 K, mit mehreren für verschiedene Wellenlängen $\lambda_1 \dots \lambda_i \dots \lambda_n$ empfindlichen Strahlungsdetektoren und einem Datenprozessor, der die Ausgangssignale der Strahlungsdetektoren nach einer Digitalisierung zugeführt erhält und daraus mithilfe des Wien-Planck'schen Gesetzes die Temperatur unter der Annahme errechnet, daß es sich bei der Oberfläche um einen idealen schwarzen Körper handelt, worauf der Emissionsgrad abhängig von der Temperatur und der Wellenlänge aus diesen errechneten Temperaturwerten gemäß einem Näherungsansatz und daraus die gesuchte Temperatur errechnet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenzen zwischen den Pyrometersignalen und den aufgrund des angenommenen Emissionsgrads und der daraus errechneten gesuchten Temperatur zu erwartenden Pyrometersignalen für verschiedene der Näherungsansätze und die verschiedenen Wellenlängen errechnet werden und daß dann derjenige Näherungsansatz ausgewählt wird, der für alle Wellenlängen die geringste Summe der Quadrate dieser Differenzen ergibt.

2. Mehrwellenlängen-Pyrometer nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Prozessor einen Speicher aufweist, in dem eine Datenbank für den

Emissionsgrad bestimmter Materialien in Abhängigkeit von der Temperatur und Wellenlänge aufgebaut wird, und daß der Prozessor auch diese Datenbank zur Errechnung der Temperatur heranzieht, wenn die gleichen Materialien einer Pyromet-

5

ermessung zugrundeliegen.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

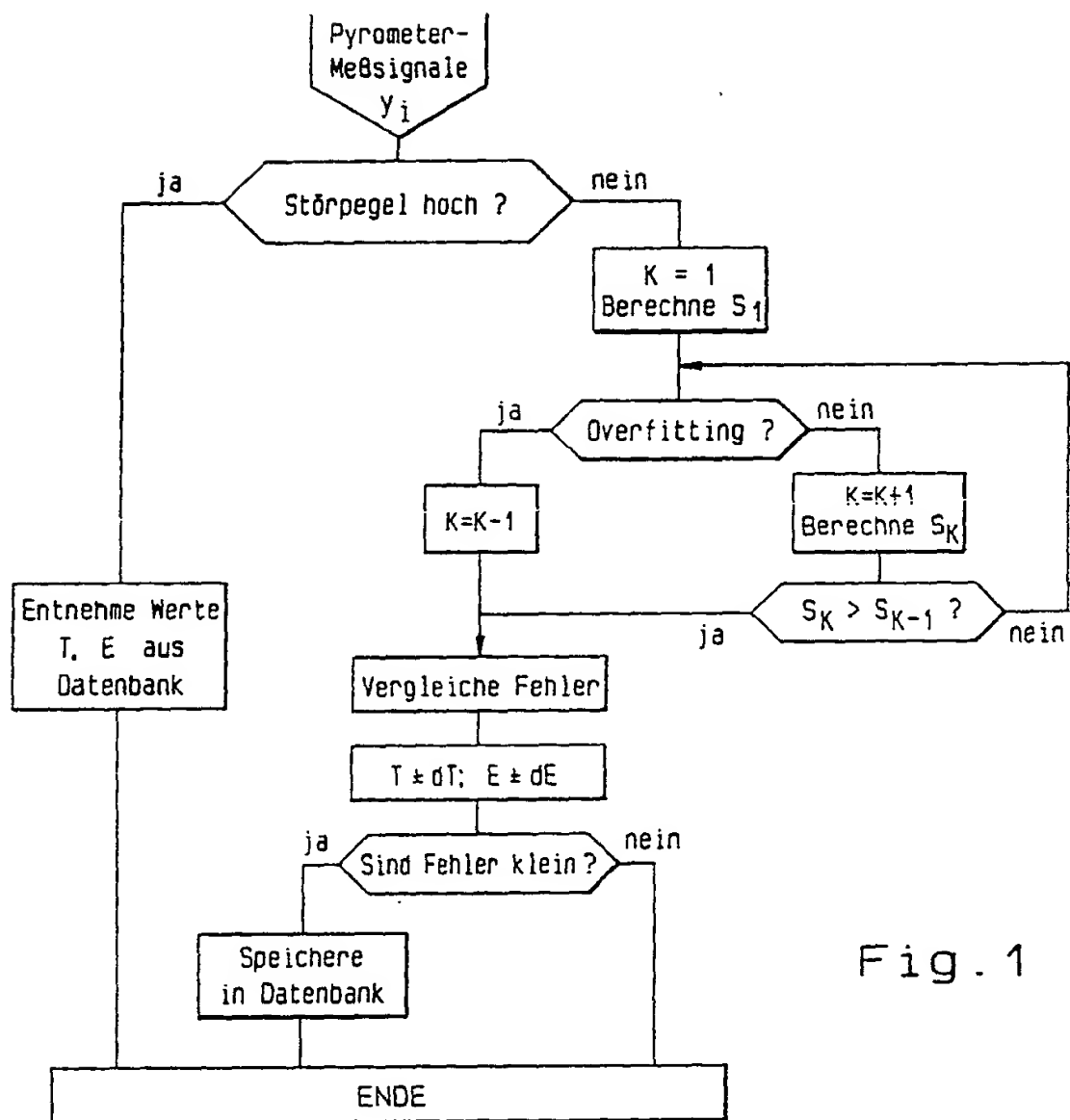


Fig. 1

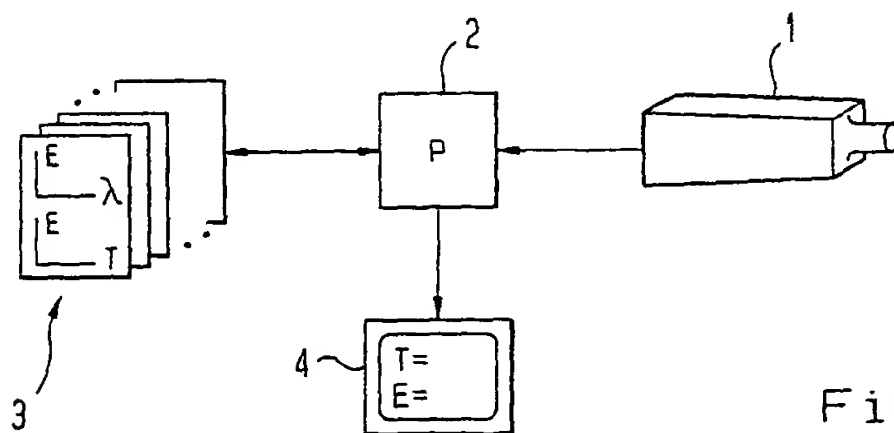


Fig. 2



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 90 11 8315

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A	OPTICAL ENGINEERING, Band 24, Nr. 6, November/Dezember 1985, Seiten 1081-1085, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, US; G.B. HUNTER: "Multiwavelength pyrometry: an improved method" * Seite 1082, rechte Spalte, Zeile 9 - Seite 1083 *	1	G 01 J 5/60
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 9, Nr. 327 (P-415)[2050], 21. Dezember 1985; & JP-A-60 152 924 (NIPPON SHINKU GIJUTSU K.K.) 12-08-1985 * Zusammenfassung *	1	
A	FR-A-2 572 523 (BERTIN & CIE)		
A	GB-A-2 179 446 (VEB MESSGERÄTEWERK ERICH WEINERT MAGDEBURG)		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			G 01 J
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		20 November 90	
		Prüfer	
		VAN DEN BULCKE E.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet		E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		D: in der Anmeldung angeführtes Dokument	
A: technologischer Hintergrund		L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument	
O: mündliche Offenbarung		&: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
P: Zwischenliteratur			
T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze			